

物理教育における汎用データ集録装置の利用法 —ダイオードと電球の特性曲線の自動計測

三 仲 啓*・増 田 覚**

(2006年10月18日 受理)

The Use of General Data Acquisition Systems in Physics Education
—Automated Measuring of Diode and Electric-Bulb Characteristics—

MINAKA Akira*・MASUDA Satoru**

要 約

近年、簡便な教育用パソコン計測システムが普及してきたが、一方汎用のデータ集録システムとそのソフトウェアも進化し扱いやすいものになってきた。ここでは、汎用システムの物理教育への利用例としてダイオードや電球の特性を自動計測する方法を紹介し、汎用システムと教育用システムとの比較を行い、汎用システムの教育利用の可能性を検討する。

キーワード：パソコン計測，データ集録 (DAQ) 装置，LabVIEW，教育利用，特性曲線の自動計測

1 はじめに

学校現場の物理教育におけるコンピュータの利用法として、パーソナルコンピュータの登場当初から、計測とそのデータ処理という形態が有効なもの1つとして注目されていた。しかし、ごく初期には、計測のためのハードウェア自体を自作しなければならず、中学校・高等学校で使用するには敷居が高すぎた。しかし、コンピュータ計測の本質的な部分はこのころにほぼ議論され尽くしていたとっていいだろう [文献1]。

その後、各メーカーからハードとソフトをまとめた教育用の計測システムが販売されるようになり、最近では真に使いやすいシステムが利用できるようになった [文献2]。使いやすさの代償として、専用のセンサとソフトを使用しなければならないなど機能面の制約と、価格面の問題がある。ただし、価格に関しては、機能を考慮するとかなり安価にはなっている。

* 鹿児島大学教育学部理科教育 (物理)

** 枕崎市立枕崎小学校教諭

一方、より本格的な業務・研究用の計測・制御システムも進化を遂げてきた。こちらはデータ集録 (DAQ : Data Acquisition) システムと呼ばれ、元来、多チャンネルで精度の高い入出力部と、その動作に必要な基本的なソフト (ドライバ) だけが用意されたものであった。極めて汎用性が高いが、トランスデューサ (センサ) 部は利用者が用意しなければならない。ところが、今日では、データ集録システム用のソフトウェアも進化し、数多くのセンサに対応し、さまざまなデータ処理機能を内蔵し、かつそのプログラミングが簡単にできるものが開発されている。このようなソフトの代表的なものとして、National Instruments社のLabVIEWがある。

DAQシステム用のソフトの進化により、汎用システムでありながら、わずかのプログラミングでデータの集録、処理、表示ができ、教育用計測システムとさほど変わらない手間で利用できるようになってきている。さらに、複数の入力の相関がとれる、出力機能を持っているなど、はるかに優れた面も多くある。しかし、これらの教育利用例の報告は非常に少ない [文献3]。本稿では、DAQとLabVIEWを物理教材に利用する実例を示すことにより、教育用計測システムとの比較を行う。

本稿の構成は以下のようになっている。まず次章では、使用するDAQとソフトウェアLabVIEWの簡単な説明に続いて、その使用法を紹介し、実際の計測に必要な手順を概観する。3章では、DAQの出力機能の簡単な利用例として、出力装置の設計とダイオード等の特性曲線の自動計測例を紹介する。4章では、その出力装置を利用して、いくつかの条件で豆電球の電流・電圧特性を自動計測する例を示す。最後の5章では、DAQシステムと教育用計測システムとを比較し、DAQシステムの教育利用の可能性について議論する。

2 DAQシステム

ここでは、実際に使用したDAQシステムとソフトウェアLabVIEWについて簡単に説明した後、これらを教育用の物理計測に使用する手順を具体例とともに示す。

2.1 ハードウェア

DAQとはデータ収録装置であり、アナログおよびデジタルの入力・出力のチャンネルを複数持っている。実際に使用したのは、National Instruments社のDAQCard-6024Eであり、16チャンネルの

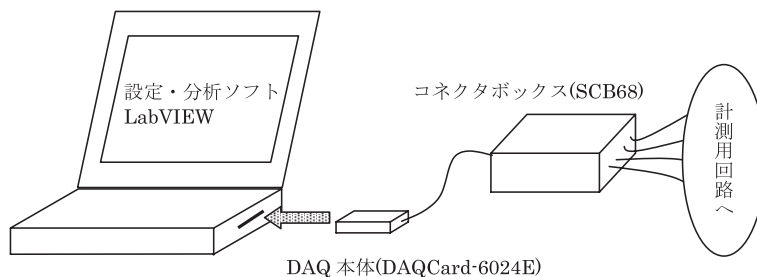


図1 使用した DAQ システム

AD入力、2チャンネルのDA出力をもち、その分解能は12ビットである。アナログ入出力のレンジを変える機能も持っている。なお、AD入力の方法として、安定性の高い差動測定（DIFF）方式をとると、1つの入力に2チャンネル分を使用することになる。この方式でも最大8チャンネルのAD入力が行える。

この他に制御の際に必要な8チャンネルのデジタル入出力機能や、時間制御に必要なタイマ機能も持っている。

DAQから外部配線用の端子盤が必要になるが、ここではすべてのチャンネルが利用できるシールドコネクタブロック（National Instruments社SCB-68）を使用した。この他にチャンネル数を絞った教育用のコネクタも利用できる。

計測を行うにはSCB-68の端子に導線やセンサ等を取り付けて使用する。このとき、通常の教育用システムとは異なり、

- (1) 未使用のチャンネルはすべて短絡しておく。
- (2) 必要に応じ適当なバイパス抵抗を入れてアースする。

などの注意が必要となる。この他に、教育用システムでも同様であるが、

- (3) ノイズ防止用に適切にアースをとる。
- (4) 測定対象がハイインピーダンス状態にならないようにする。

などの措置が必要である。これらの点は、慣れないと戸惑うことがあるだろう。

2.2 ソフトウェア

ここで使用したLabVIEWは、計測解析ソフトウェア開発用のアプリケーションである。LabVIEWは各種DAQやシリアルポート等の制御を行うことができ、データの収録・解析・表示を統一的に行うことができるので、DAQシステムにおいて非常に便利なソフトウェアである。

LabVIEWでは、G言語と呼ばれるグラフィカルプログラミング言語を用いて図形や記号でプログラムの動作を記述する。このG言語を用いて作成されたプログラムは、実際の計測器の概観や動作を模しているためVI（virtual instruments, 仮想計測器）と呼ばれている。VIとその中の部品との関係は、テキストベースのプログラミング言語におけるメインプログラムとサブルーチンの関係に似



図2 VIの例。左はフロントパネル、右はブロックダイアグラム。

ている。VIは、ユーザインターフェイスであるフロントパネルと、ソースプログラムであるブロックダイアグラムの2つから構成される。いずれも、G言語の部品であるグラフィカルなオブジェクト（部品や配線）を使って作成する。

フロントパネルに使用するオブジェクトは、各種の制御器（入力器）と表示器（出力器）である。制御器と表示器はフロントパネル上にマウスでドロップして配置し、ユーザは制御器の値を変えることにより初期条件を変更することができる。また制御器や表示器をドロップすると同時に、これに対応するアイコンがブロックダイアグラム上に自動的に配置される。

ブロックダイアグラムの中で使用するオブジェクトは、フロントパネル上の制御器や表示器に対応するものの他に、定数、関数、サブVI、ストラクチャ（制御構造）、そしてそれらを相互につないでデータを流せるようにするワイヤがある。

部品の配置と配線が終わり完成したVIを実行するときには、フロントパネルを前面に開き、制御器の値を設定し、実行後の出力を観察することになる。

2.3 実際の計測例

ここでは最も簡単なDAQによる計測例を示し、ハードウェアやソフトウェアの準備がどの程度必要かを示す。例として取り上げるのは、本学部の卒業研究〔文献4〕で行ったもので、さまざまな巻き数と直径のクリップモータ（手巻きのコイル）に対する乾電池の起電力の低下を調べたものである。簡単な例ではあるが、長時間にわたる計測が必要であるので、自動計測でなくては実行できないものである。

計測用の回路は、1つの電圧を測定するだけであるので、図3のように極めて簡単であり、特に注意する点も無い。

長時間にわたる電圧の計測のプログラムは、基本的には、繰り返し構造（Whileループ）の中に時間間隔を指定するタイマと電圧入力用のVIを配置するだけであるので簡単である。結果をグラフ表示するには、入力電圧をグラフ表示器に配線するだけですむ。実際には、繰り返しの終了条件を与える数値制御器が加わる。また、データはファイルに書き出すので、データの項目行の書き出しや、数値の桁数指定などが加わり、図4のように少し複雑になるが、プログラミングの経験が無い者にも比較的楽に理解できるであろう。

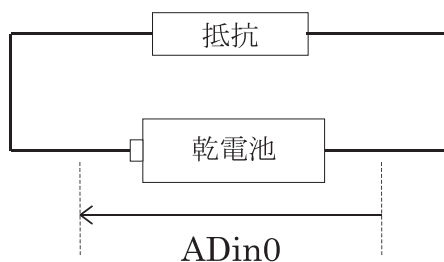


図3 乾電池の電圧の時間変化を計測するための回路
抵抗の位置に巻き数や半径が異なるコイルを接続し、乾電池の起電力の時間変化を計測する。ADin0は、AD入力のチャンネル0に接続することを示す。

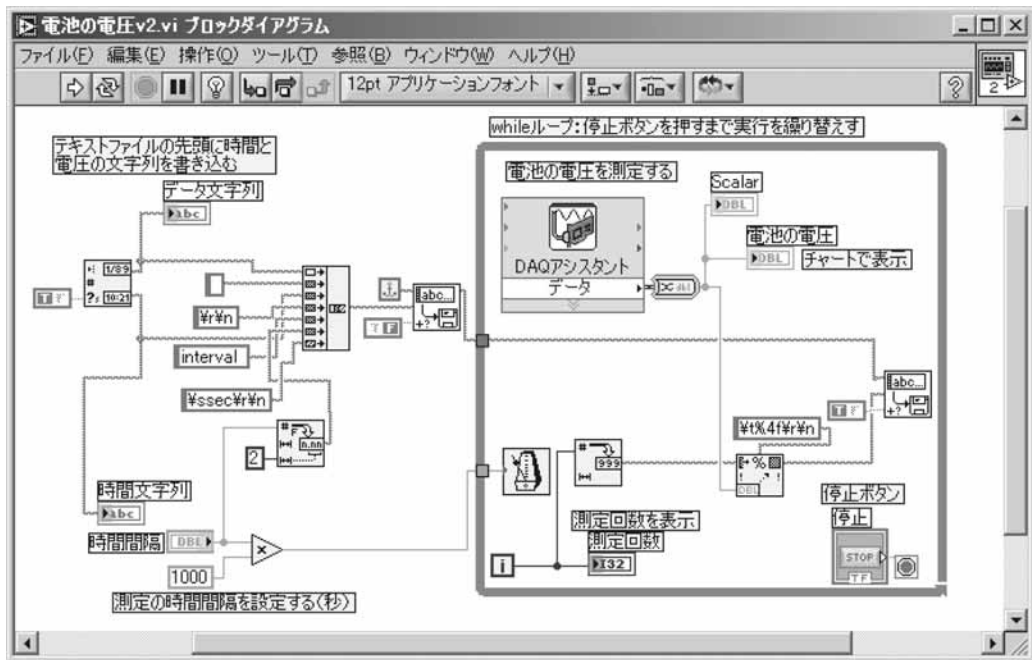


図4 データロガーのブロックダイアグラム

繰り返し構造 (whileループ) の外は、ファイルへの書き込み、時間間隔の設定を行う。ループ内では、停止ボタンが押されるまでDAQアシスタントが電圧測定を繰り返す。測定結果は、チャート図およびテキストファイルに出力される。

この例は、いわゆるデータロガーとしての使い方であり、汎用性がある。実際に、学生の卒業研究などで、プログラムを少し変更することにより、さまざまな計測に利用されている。

しかし、この例のような使い方であれば、教育用計測システムと変わることが無く、むしろ教育用計測システムの方が簡単に使えるかもしれない。以下では、教育用計測システムには無い出力機能を使用した例を示す。

3 出力機能の利用例

DAQは前述したように、DA出力チャンネルを持っており、LabVIEW等のソフトウェアで設定すれば、時間的に変化する電圧を自由に出力させることができる。ただし、DAQ本体には最大で5mAの弱い電流しか流すことができないので、外部電源装置を使いその出力調節にDAチャンネルを使用することになる。以下では、FETを利用した電流制御の例を示す。

3.1 FETによる電流制御

電界効果トランジスタ (FET) は、ゲート (G) ソース (S) 間の電圧 V_{GS} により、ドレイン (D) ソース間の電流 I_D を調節する。 I_D はドレイン電流と呼ばれる。G, D, S はトランジスタのベース (B), コレクタ (C), エミッタ (E) に対応するが、トランジスタとは異なり GS 間には逆電圧を加えるので、ゲート電流は 0 と考えてよい。ここでは、大電流用の N チャンネル型 MOS

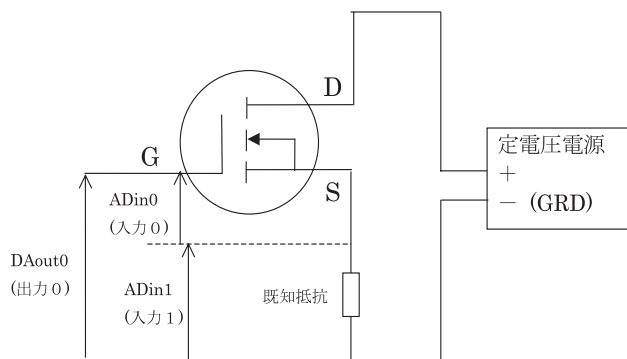


図5 FET特性の自動計測回路

既知抵抗の電圧から、オームの法則を使ってドレイン電流 I_D を求める。

FET (エンハンスメント型 2SK3234) を使用した。

FETの代わりに、トランジスタのダーリントン接続を使用することもできるが、FETの方が、

- ・回路が簡単である
- ・DAQのDA出力端子に電流が流れることが無い

という利点がある。

FET自身の特性は、図5の回路を使って自動測定できる。

DA出力電圧を徐々に上げていくと、GS間の電圧 V_{GS} が数居値を超え、ドレイン電流 I_D が流れ始める。ドレイン電流は、既知抵抗 (3Ω を使用) の両端の電圧からオームの法則を使って求めることができる。

LabVIEWのプログラムは、

- (1) DA出力 (DAout0) を設定する。
- (2) V_{GS} (ADin0) を読み込む。
- (3) 既知抵抗の電位差 (ADin1) を読み込み、 I_D を計算する。
- (4) V_{GS} と I_D をファイルに記録する。

という動作の繰り返しになる。

なお、この計測は V_{GS} の数居値付近を使用するので、 V_{GS} のわずかな変化で I_D は大きく変化する。そのため、既知抵抗をドレイン側に接続した回路では、 I_D が非常に不安定になり、計測不能になる。必ず、図5のようにS側に抵抗を接続するソースフォロアの形にしなければならない。

3.2 LEDの特性曲線

FETの特性曲線と同様にしてダイオードや発光ダイオード(LED)の特性を調べることができる。測定用の回路を図6に示す。ここでLEDと並列に接続されている抵抗は、電流 I_D が流れ出すまでLEDが切断状態(ハイインピーダンス)になり、D/AQ入力が正しく行われなくなるのを避けるために入れている。このLEDの特性測定に影響を与えないように十分大きな並列抵抗を使用する必要がある。

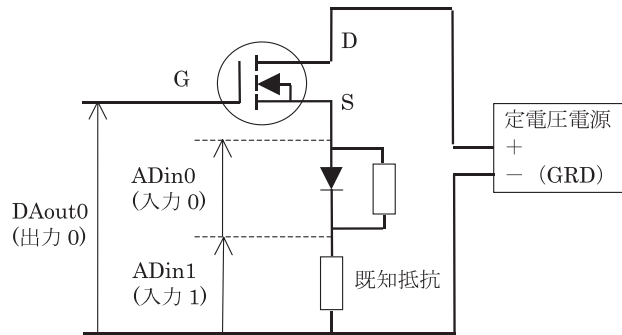


図6 LEDの特性曲線の測定回路

DAout0の電圧を0.1Vずつ上げながら、ADin0、ADin1の電圧値を入力する。既知抵抗(100Ω)の電圧から、LEDに流れる電流値を求める。定電圧電源の出力は7~8Vに設定する。

測定用のプログラムは、先のFETの場合と同様であるが、繰り返しの度に出力電圧を0.1Vずつ増加させ、ドレイン電流が25mAを超えると停止するようにした。このようにして得られたダイオードおよびLEDの特性曲線を図7に示してある。

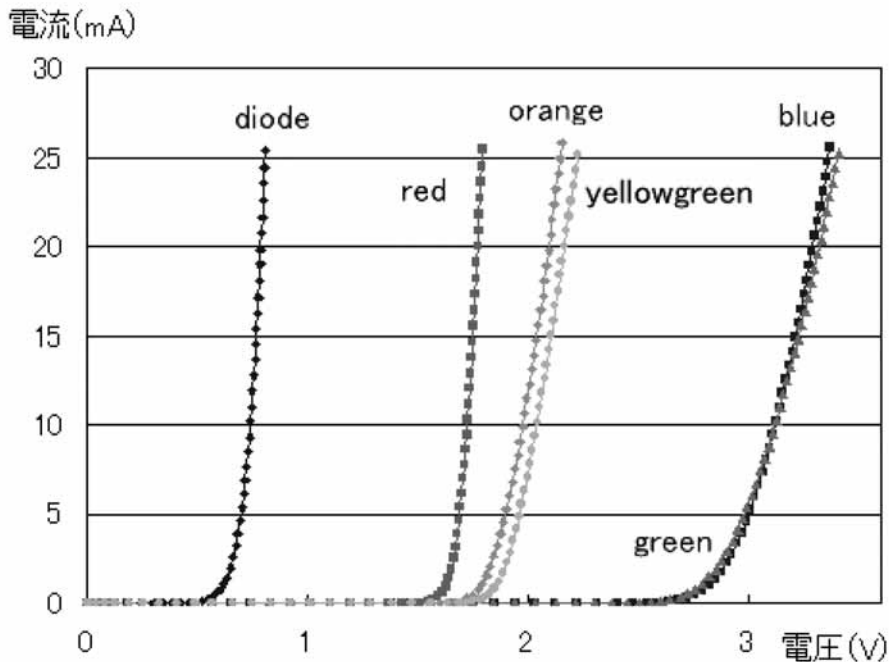


図7 各種LEDの特性曲線

学生実験では、電流計や電圧計を用いてLEDの特性曲線を求めることも行われるが、1つの特性曲線を得るために数10点の測定を行わねばならず、時間がかかる。DAQシステムによる自動計測では、それぞれのデータが瞬時に得られるため、さまざまなLEDの比較を行うことも可能になる。

4 電球の特性曲線

LEDの特性測定とほぼ同じ回路、同じプログラムを使って豆電球の特性を測定することができる。電球の場合はLEDの場合とは異なり並列抵抗は不要である。また、LEDの場合とは異なり、各電圧を継続する時間、すなわち測定の時間間隔を変えると特性曲線が図8のように変化する。

測定時間間隔（電圧を変えてから計測までの時間） t_1 を変えると特性曲線が変わるのは、フィラメントの抵抗が温度とともに大きくなるからである。 t_1 がごく短ければ、フィラメントが完全に発熱する前に計測することになり、抵抗が小さいために電流が大きくなる。 t_1 が大きいときは、通常の電流計や電圧計を使った手作業の測定とほぼ同じになる。グラフから、豆電球に電圧を加えてから、ほぼ1秒経過すればフィラメントの温度が十分上がり、平衡状態に達することがわかる。

逆に、 $t_1=0$ の場合はフィラメントの温度が上がらず、豆電球の抵抗はオームの法則を満たすように考えられるが、図8では $t_1=0$ msの特性曲線も少し曲がっている。これは、プログラム上0msの間隔で計測するようにしても、実際には数msの時間間隔になっており、全体では100ms程度の間電流が流れ、フィラメントの温度が上がってくるためと考えられる。

電流(A)

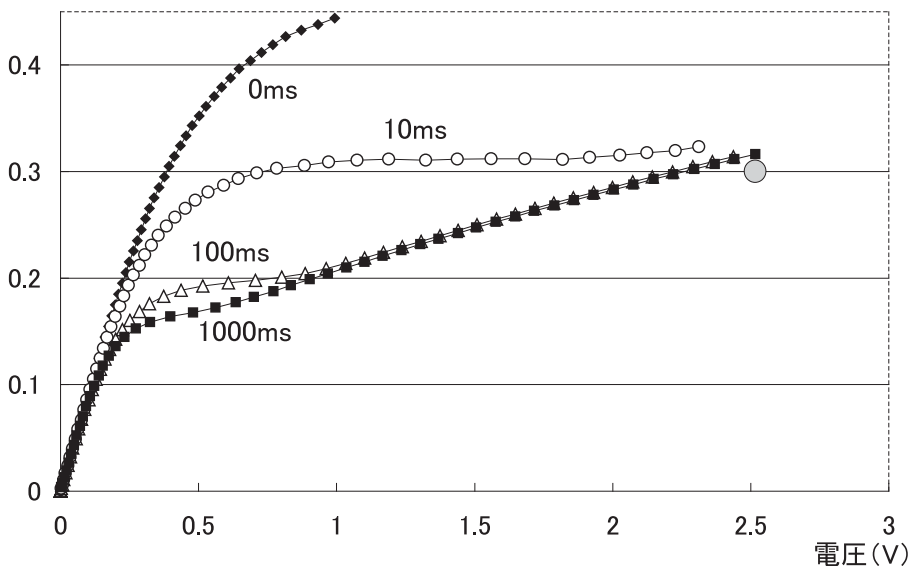


図8 豆電球の特性曲線（冷却時間なし）

電圧を加えてから計測までの時間を0 ms, 10 ms, 100 ms, 1000 msとしたもの。

円は豆電球の規格2.5 V, 0.3 Aの位置を示す。

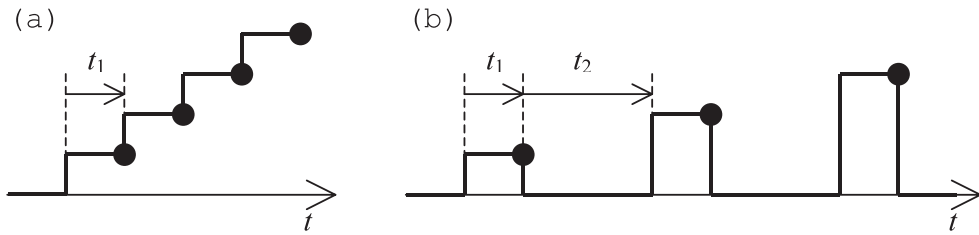


図9 電圧の出力と計測のタイミング

電球に電圧を加え、時間 t_1 経過後に電流・電圧を計測する。●は計測点。

(a) 計測後すぐに、次の電圧を加える。

(b) 計測後時間 t_2 の間は電圧を0にし、フィラメントを冷却した後、次の電圧を加える。

後者の点を確認するために、ある電圧における測定が終わると、しばらく電圧を0にしてフィラメントを冷却してから、次の電圧の測定を行うことにした。図9 (a)には先に図8を得た出力電圧と計測のタイミングを示している。これに対して、次の測定に移る前にフィラメントを冷却するために、図8 (b)のように時間 t_2 の間電流を切るようにして測定を行った。時間 t_2 は1分間にしたので、計測全体には1時間以上必要になった。このようにして得られたのが図10である。

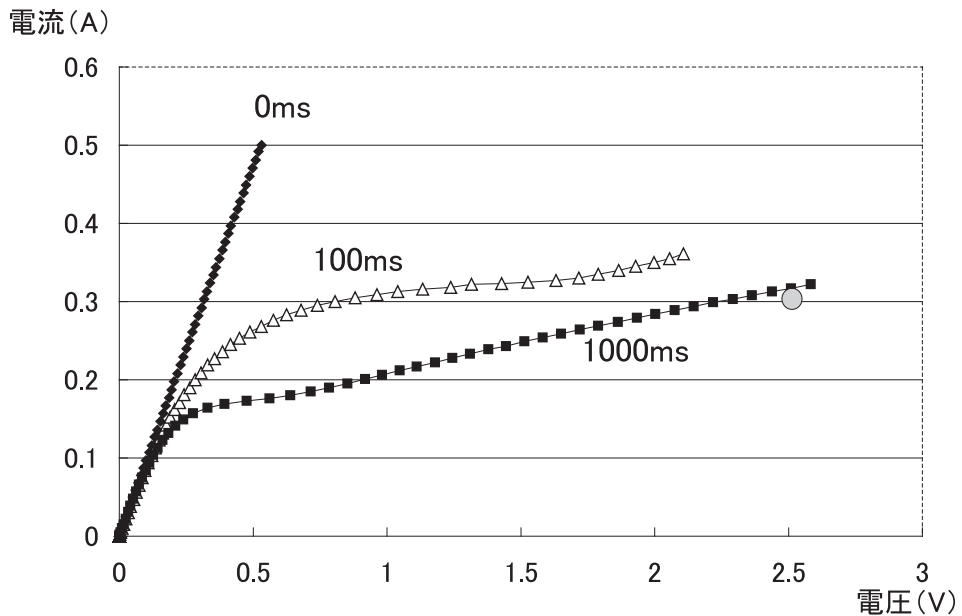


図10 豆電球の特性曲線 (冷却時間 $t_2=1\text{min}$)

電圧を加えてから計測までの時間 t_1 を0ms, 100ms, 1000msとしたもの。

円は豆電球の規格2.5V, 0.3Aの位置を示す。

図10において、 $t_1=0$ のデータは予想通り、オームの法則を示す直線になっている。また、 $t_1=1000\text{ms}$ のデータは図8のものと同じなので、電流が流れ始めて1秒が経過すると平衡状態に達することが再確認できる。

図10のデータから、電球の抵抗値を求めたものが図11である。 $t_1=0$ のデータは抵抗値 R が一定になる。また、 $t_1=1000\text{ms}$ のデータは、抵抗が一定の直線から、抵抗が電流に比例する直線に移り変わっていくことがわかる。

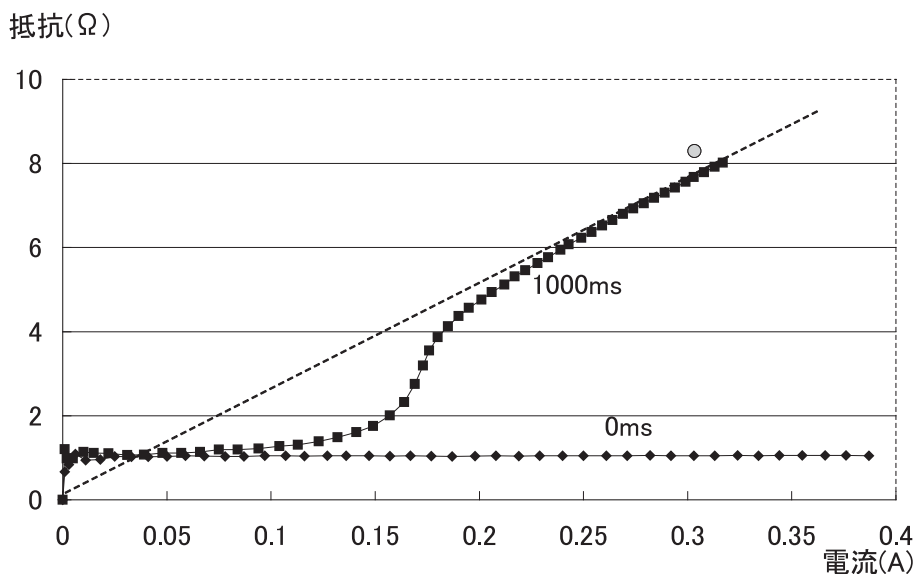


図11 豆電球の電流と抵抗値 (冷却時間 $t_2=1\text{min}$)
 電圧を加えてから計測までの時間 t_1 を0ms, 1000msとしたもの。
 円は豆電球の規格2.5V, 0.3Aの位置を示す。

電球の電圧 V とそこに流れる電流 I の関係は、通常の使用条件では、

$$V \propto I^2 \text{ すなわち } I \propto \sqrt{V} \quad (1)$$

になることが知られているが、図11の $R \propto I$ の部分がかこれに対応している。

他の種類の豆電球についても、 $t_1=1000\text{ms}$ のデータを示したのが図12である。いずれの電球も、電圧 V を上げるにつれて $R = \text{const.}$ の直線から $R \propto I$ の直線へ移り変わることがわかる。この移行部で電球が光り始める。このデータから、通常の使用条件では、一般的に(1)の関係が成り立つことがわかる。

このような実験は、一般の教育用計測システムでは不可能であり、DAQならではのものである

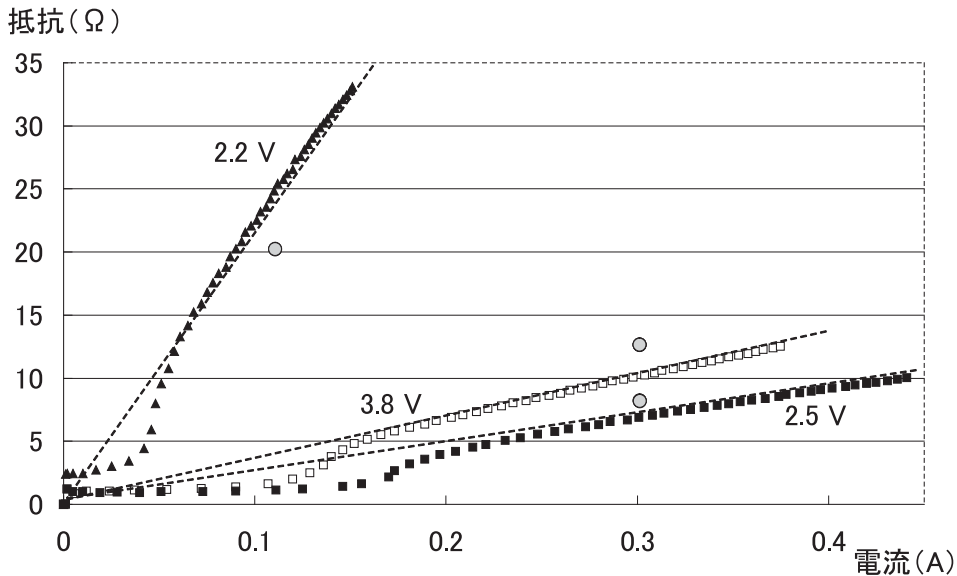


図12 豆電球の電流と抵抗 (冷却時間 $t_2=1$ min)
 3種類の豆電球について、 $t_1=1000$ msのデータのみを示した。
 円は豆電球の規格値 (2.5V/0.3 A, 3.8V/0.3 A, 2.2V/0.11A) に対応する位置を示す。

う。図11と図12では、冷却時間 t_2 を1分間とっているため、計測には長時間を要するが、 $t_1=1$ sのデータに限れば、冷却時間を0とした場合と変わらない。 $t_2=0$ とすれば、1つの電球に対して $t_1=1$ sのデータを得るのに要する時間は1分程度になる。したがって、データ処理まで含めても、授業時間内の学生実験も可能である。

5 おわりに

本稿では汎用DAQを物理教育に利用する可能性を紹介した。特に、教育用に設計されたパソコン計測システムでは困難なLEDや電球の特性曲線の自動計測の例を詳細に示した。これらは演示実験のみならず、学生実験にも使用できる。学生実験として行う場合には、プログラミングは省略し、完成したプログラムを使うだけにするのが適切であろう。実験回路と計測原理を理解するのに少々時間が必要であろうが、実際の計測はごく短時間で完了するので、複数の試料を比較することが可能になる。また、LEDや電球が徐々に明るく光るのを見るのは興味深いものである。

最後に、汎用DAQを物理教材に利用できる例をいくつか列挙しておく。

(1) データロガーとしての利用

これは、2.3で一例を挙げたが、多くの場合、教育用のパソコン計測システムの方がより簡単に結果を得ることができる。しかし、DAQにおいても、1つプログラムがあれば、後はごく一部を

変更するだけで対応できる。さらに、手持ちの任意のセンサが使えることや、多数のチャンネルが利用できることも汎用DAQの利点である。

(2)出力機能を用いた計測

本稿ではLEDと電球の特性曲線を求める例を紹介したが、他の応用も考えられる。DA出力機能は、教育用のパソコン計測システムにはあまり見られないので、汎用DAQの利点の1つになる。

(3)計測・制御の実習

DAQには、AD入力、DA出力に加えて、多数のデジタルIOチャンネルも用意されているので、さまざまな計測・制御の実習も行える。

一方、計測・制御用のソフトウェアLabVIEWは、汎用プログラミング言語と同等なさまざまな機能を備えているので、DAQが無くても各種シミュレーションが作れる。特に、各種信号処理の部品が豊富に用意されているため、それらを使ったデータ処理のみの実習も行える。また、音の入出力機能も備わっているので、音関係の教材作成にも便利であろう。

現状では、汎用DAQシステムの教育利用としては、計測・制御の学習以外にはほとんど使われていないが、上記のようにさまざまな物理の内容に関する教育にも利用する可能性があると考えられる。

謝辞

鹿児島大学工学部の南竹力氏には、計測回路について丁寧にご教示いただきました。ここに記して感謝します。

参考文献

1. 平田邦男「パソコンによる物理計測入門」共立出版 (1985)
2. 例えば、米Pasco社のPasportセンサシリーズ (日本では島津理化器械が販売している)。これを利用した例として、以下の報告がある。
小林昭三他「力と運動の素朴概念を転換するIT活用法の有効性」新潟大学教育人間科学部 教育実践総合研究, Vol.2, pp.39-62 (2003)
3. 計測・制御の方法を習得させるためにLabVIEWとDAQを使用している例は多くあり、例えば、以下の報告がある。
P.J.Moriarty, B.L.Gallagher, C.J.Mellor and R.R.Baines, "Graphical computing in the undergraduate laboratory: Teaching and interfacing with LabVIEW", Am.J.Phys, No.71, pp.1062-1074 (2003)
一方、LabVIEWとDAQを使用して教育的な実験を行った例としては、以下のものしか見当たらなかった。
Slavko Kocijancic and Colm O'Sullivan, "Are dead chickens ohmic?", Phys.Educ, No.39, pp.69-73 (2004)
4. 新田美幸「電磁石とモーターの分析とその教材利用」, 鹿児島大学教育学部卒業研究 (2006年2月), 牟田愛子「LabVIEWによる教材作成」, 同 (2006年2月)